

8. Jian L., Shuming W., Dan L., Mengyang L. Response surface methodology for optimization of copper leaching from a lowgrade flotation middling. Minerals and Metallurgical Processing. 2011, 3, 139-145.

9. Rogozhnikov, D.A., Kolmachikhin, B.V. Polymetallic ore concentration middlings Nitric Acid leaching kinetics. Solid State Phenomena, 2017, 265, 1065-1070.

УДК 669.213.3

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СУЛЬФИДНО-ЩЕЛОЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ФЛОТАЦИОННОГО КОНЦЕНТРАТА УДЕРЕЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

*А.А. Коблик, Р.Э. Русалев, Д.А. Рогожников*

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента  
России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

Тенденция переработки бедных руд, техногенного сырья и упорных концентратов возрастает с каждым новым отработанным месторождением. Полное использование всех добываемых природных компонентов, а также – созданных и накопленных человеком, становится всё более актуальным и является важнейшим направлением в их использовании на основе безотходных технологий.

Упорность концентрата объясняется наличием в его составе тонко вкрапленного золота ассоциированного с сульфидами, что характерно для минералов пирита и арсенопирита. Переработка упорного концентрата технологией цианирования в обычных условиях не обеспечивает высоких показателей извлечения, либо сопровождается повышенным расходом реагента, что является экономически нецелесообразным.

Для более эффективного извлечения золота необходимо подготовить сложное сырьё путём удаления сурьмы и мышьяка, минералы которых в процессе цианирования взаимодействуют со щелочными цианистыми растворами, из-за чего резко снижается извлечение золота и повышается расход реагента. В процессе подготовки сырья возможно получение сурьмы из растворов с помощью электроэкстракции в виде побочного ценного продукта.

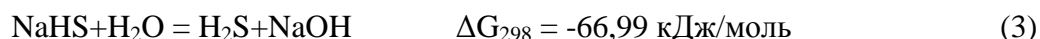
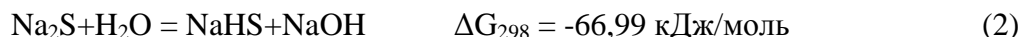
Сурьма является важным стратегическим металлом, т.к. она находит применение в различных сферах производства от сплавов для машиностроения и антипиренов (огнеупорных материалов) до полупроводниковой промышленности.

Извлечение сурьмы из концентрата осуществляется путём растворения сурьмянистых минералов в водной смеси сульфида натрия и гидроксида натрия. Растворение протекает согласно следующей реакции:

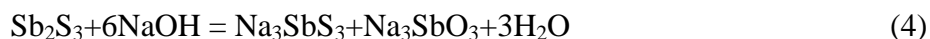


Изменение энергии Гибса имеет отрицательное значение, что показывает термодинамическую возможность протекания реакции в прямом направлении.

Гидроксид натрия в первую очередь препятствует гидролизу  $\text{Na}_2\text{S}$ , который может проходить в 2 стадии:



Также  $\text{NaOH}$  является дополнительным растворителем соединений сурьмы:



Из раствора сурьму осаждают электролизом с нерастворимыми анодами.

Были проведены различные анализы флотационного концентрата Удерецкого месторождения. Данный концентрат представлен в основном сурьмой, железом, серой и кремнием (табл.1). Элементный анализ флотационного концентрата проводили на рентгеноспектральном флуоресцентном спектрометре Axios MAX фирмы PANalytical.

Основные фазы – стибнит ( $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ) – 39,1 %, пирит ( $\text{FeS}_2$ ) – 23,3 %, арсенопирит ( $\text{FeAsS}$ ) – 15,4 % и кварц ( $\text{SiO}_2$ ) – 12,5 %. Фазовый анализ флотоконцентрата выполнен на дифрактометре XRD 7000 Maxima (рис.1). Содержание золота определяли пробирным анализом с окончанием масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Таблица 1

Элементный состав флотационного концентрата Удерецкого месторождения

Элемент	Al	As	Fe	Mg	O	S	Sb	Si	Au (г/т)	Прочие
Масс.%	4,8	3,2	20,2	1,46	17,05	11,8	32,2	9,2	10-15	0,09

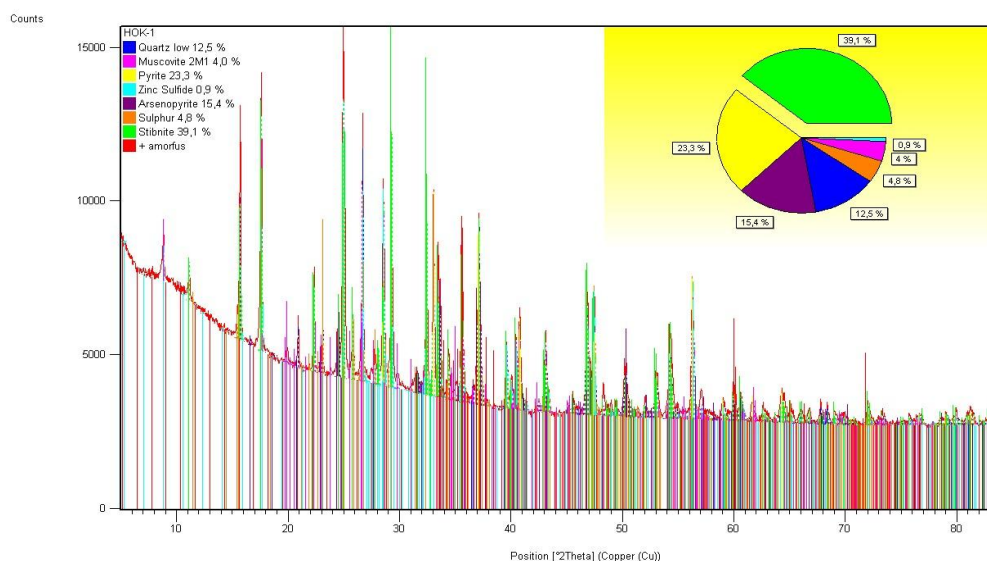


Рис.1. Дифрактограмма флотационного концентрата Удерейского месторождения

Эксперименты по выщелачиванию сурьмы проводились в стеклянных сосудах при атмосферном давлении в течение 2 ч при постоянном перемешивании в температурном диапазоне от 40 до 70 °С. После достижения сульфидно-щелочного раствора заданной температуры добавляли навеску флотоконцентрата массой 10 грамм при Ж:Т=6:1. По окончании эксперимента пульпу фильтровали, полученный кек сушили и передавали на анализ с полной расшифровкой спектра. Результаты проведенных экспериментов представлены в табл. 2. После проведения выщелачивания был проведен анализ по содержанию золота в обессурьмянистом кеке. Содержание золота равно  $28,0 \pm 2,1$  г/т.

Таблица 2

Результаты проведения экспериментов по выщелачиванию флотоконцентрата

№ п.п.	Т-ра, °С	Ж:Т	Время, мин	$C_{NaOH}$ , г/дм <sup>3</sup>	$C_{Na_2S}$ , г/дм <sup>3</sup>	Sb			S		
						%	г	изв.%	%	г	изв.%
1	40	6:1	120	40	55	3,79	0,22	93,04	20,70	1,23	-3,81
2	60	6:1	120	40	55	2,04	0,12	96,30	21,56	1,25	-6,19
3	70	6:1	120	40	55	1,10	0,06	98,04	23,20	1,33	-13,81

Были определены зависимости влияния температуры проведения выщелачивания на извлечение сурьмы в раствор. Как видно на графике (рис.2) с ростом температуры увеличивается показатель перехода сурьмы в раствор. При определенных условиях удалось достичь 98% извлечения, что является высоким показателем. Отрицательные значения извлечения серы свидетельствуют о том, что её часть перешла в кек.

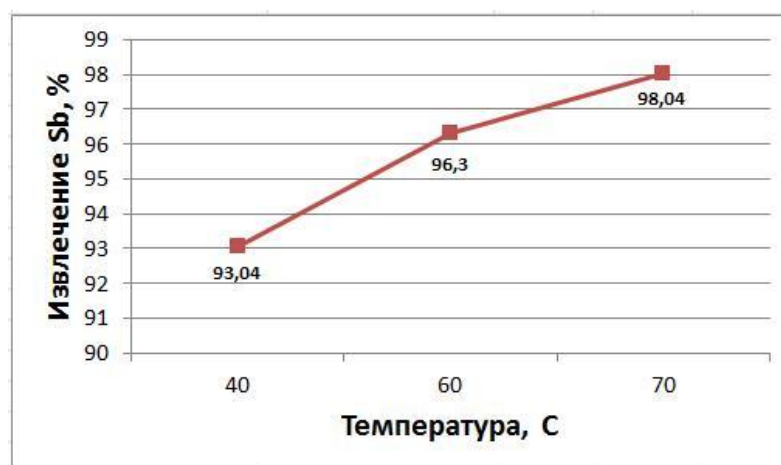


Рис.2. Зависимость извлечения сурьмы от температуры

**Закключение.** Предварительно была изучена литература гидрометаллургических технологий переработки сурьмяного сырья. Были проведены анализы сырья с целью изучения его состава для выбора оптимальных условий проведения выщелачивания. Флотационный концентрат является упорным сульфидным золотосодержащим материалом. Высокое содержание сурьмы и золота вынуждают к дальнейшей разработке комплексной технологии переработки данного сырья.

Были достигнуты высокие показатели извлечения целевого элемента, а именно 98%, а также увеличение концентрации золота в кеке в два раза (до 28 г/т) впоследствии выщелачивания сурьмы. После проделанного сульфидно-щелочного выщелачивания золотосодержащий кек направляется на дальнейшую переработку для подготовки его к извлечению золота, а сурьмяные растворы направляются на осаждение сурьмы с помощью электролиза. Однако необходимы дальнейшие исследования данной технологии с целью уменьшения концентраций растворителей для роста экономического показателя.

#### Литература

1. Сурьма/ С.М. Мельников [и др.]; под ред. С.М. Мельникова.– М.: Издательство «Металлургия», 1977.– 534 с.
2. Категория: Мировой рынок [Электронный ресурс] // ГПМ Химресурс, Режим доступа: <http://www.gpmchem.ru/analytics/antimony/world>.
3. Попсуев М.В., Скорик Л.Ф., Особенности переработки золото-сурьмянистых руд / М.В. Попсуев, Л.Ф. Скорик, // The Way of Science – International scientific journal, 2016,– №4 (26)– С. 47-50.
4. Каковский И.А., Поташников Ю.М. Кинетика процессов растворения. / И.А. Каковский, Ю.М. Поташников. – М.: Metallurgy, 1975, 224 с.
5. Карелин В.А., Страшко А.Н., Гидроэлектрометаллургия сурьмы / В.А. Карелин, Л.Ф. Скорик, 2013, 17 с.

6. Шиянов, А. Г. Производство сурьмы, учебное пособие / А. Г. Шиянов. – М.: Металлургиздат, 1961.
7. Технология и оборудование для гидрохимического окисления упорных золотосодержащих концентратов (ES-процесс) / Д.В. Судаков, [и др.] // Цветные металлы. – 2017. – №3. – С 40-44.

УДК 669.213

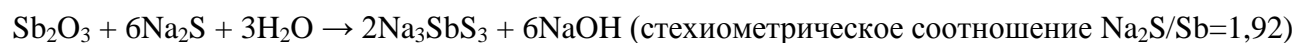
## О СУЛЬФИДНО-ЩЕЛОЧНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ СУРЬМЫ ИЗ ШЛАКОВ СВИНЦОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Ф.Ф. Мухамадеев, К.Л. Тимофеев, В.А. Шунин*

АО «Уралэлектромедь», г. Верхняя Пышма, Россия,

[mff@elem.ru](mailto:mff@elem.ru); [K.Timofeev@elem.ru](mailto:K.Timofeev@elem.ru); [V.Shunin@elem.ru](mailto:V.Shunin@elem.ru)

На предприятии АО «Уралэлектромедь» одним из источников вывода сурьмы из существующей технологии являются шлаки свинцового производства, с содержанием сурьмы – от 10 % до 30 %. Для извлечения сурьмы из шлака в отдельный продукт, в настоящее время, на предприятии изучается гидрометаллургический способ, состоящий из двух последовательных операций: «сульфидно-щелочное выщелачивание и электролиз сурьмы». Методом рентгенофазового анализа нами было установлено, что сурьма в этих шлаках преимущественно находится в форме  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ . Сульфидизация триоксида сурьмы при сульфидно-щелочном выщелачивании протекает по следующему механизму [1]:



Состав исходного шлака непостоянен. Помимо сурьмы в составе шлака, в зависимости от исходного состава сырья и режимов плавки, могут находиться значимые количества окисленных форм свинца ( $\text{PbO}$ ) и олова ( $\text{SnO}_2$ ), при выщелачивании также вступающих в взаимодействие с сульфидом натрия. Содержание свинца в шлаках изменяется в диапазоне - от 5 % до 25 %, олова – от 2 % до 10 %.



Наличие окисленных форм сурьмы, свинца и олова способствуют регенерации гидроксида натрия в растворе. Проведено 2 эксперимента с концентрацией  $\text{NaOH}$  в исходном сульфидно-щелочном растворе 15 и 30 г/дм<sup>3</sup>. Эксперименты были проведены при Т:Ж = 1:5, концентрации  $\text{Na}_2\text{S}$  – 140 г/дм<sup>3</sup>; температуре – 95 °С и продолжительности - 4 часа.